

# KAJIAN TEKNIS DAN KEEKONOMIAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOGAS DARI LIMBAH CAIR SAWIT (STUDI KASUS DI PLTBIOGAS BANGKA)

Reza Putra Astamura, Wahri Sunanda, Rudy Kurniawan

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Bangka Belitung

e-mail : [rezapoetrae16@gmail.com](mailto:rezapoetrae16@gmail.com)

## ABSTRAK

Masalah yang sering ditimbulkan dari industri kelapa sawit ialah pembuangan limbah cair yang menimbulkan polusi udara karena bau yang menyengat dari kolam limbah, jika dibuang ke sungai maka akan mencemari sungai, dan jika dibuang ke tanah maka tanah tersebut akan terkontaminasi. Maka dilakukan kajian perhitungan analisis agar limbah cair dapat memberikan keuntungan bagi pabrik dari segi keekonomian, dengan cara menganalisis produksi gas metana yang bahan bakunya limbah cair diolah secara anaerobik untuk bahan bakar PLTBogas. Hasil yang didapat dari analisis produksi biogas tersebut gas metana 11.182, 07 Nm<sup>3</sup>/jam, dan untuk energi listrik yang dihasilkan rata-rata 1.62 MW, jika dijadikan kWh maka didapatkan 38.880 kWh dengan *feed in tariff* Rp 1575/kWh, pendapatannya sebesar Rp 61.236.000/hari, dari segi keekonomian kelayakan investasi NPV analisis biogas Rp 40.416.194.104, dengan suku bunga 11%, IRR 23%, DPBP 5 tahun, dan dari data pendapatan PLN, NPV Rp 36.468.500.543, IRR 22%, DPBP 5 tahun.

**Kata kunci:** *Digester, Gas metana, PLTBogas, POME.*

## PENDAHULUAN

Biogas merupakan salah satu dari banyak alternatif energi yang terbarukan yang ramah lingkungan. Biogas dihasilkan dari proses fermentasi alami limbah. Menurut data dari Badan Pusat Statistik (BPS) 34 pabrik industri kelapa sawit berada di pulau Bangka. Dampak dari proses industri kelapa sawit mengakibatkan banyaknya limbah padat dan limbah cair kelapa sawit.

Untuk meminimalisir dari dampak lingkungan dilakukan kajian secara teknis pemanfaatan limbah cair agar gas metana dari proses fermentasi tersebut dapat menghasilkan energi listrik, setelah itu dilakukan kajian secara keekonomian untuk mengetahui kelayakan investasi dengan cara menghitung NPV, IRR, dan DPBP.

Hasil positif didapatkan setelah dilakukan kajian teknis dapat mengurangi dampak lingkungan efek rumah kaca, dan dari segi kajian keekonomian akan mendapatkan keuntungan jika biogas diolah untuk konsumsi *generator* kemudian hasil kWh dijual ke PLN.

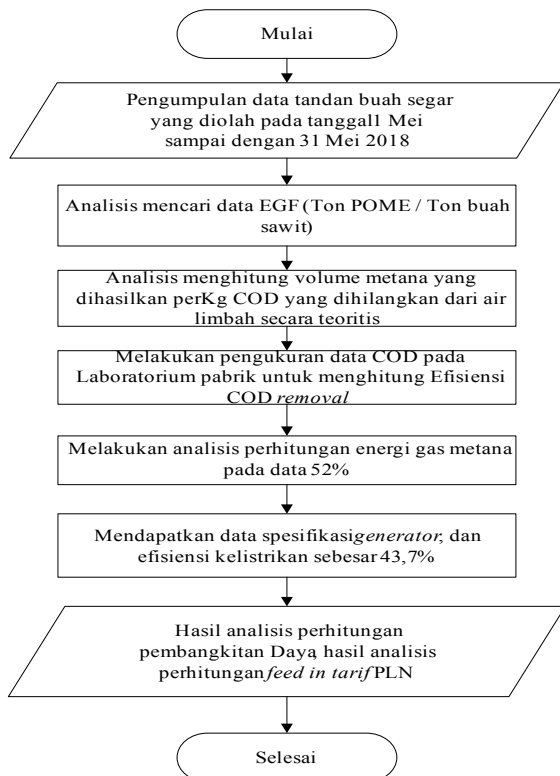
Hasil dari penelitian Safrizal (2015) ini didapatkan Jumlah pabrik kelapa sawit (PKS) 146 unit. Tersebar hampir diseluruh kabupaten/kota Riau, PT. PLN Wilayah Riau dan Kepulauan Riau (WRKR) mengalami, *defisit* listrik sekitar 134,4 MW. Kebutuhan listrik di Riau pada waktu beban puncak sebesar 450,7 MW (data realisasi 2012). Kemampuan pembangkit listrik hanya 316,3 MW, sehingga terpaksa dilakukan pemadaman bergilir, di kota Riau dan sekitarnya. *Defisit* listrik 134,4 MW, sedangkan potensi energi listrik dari POME 434,54 MW, masih surplus 300,14 MW. Bila dijumlahkan antara kapasitas daya mampu 316,3 MW + 434,54 MW = 750,84 MW. lebih dari cukup untuk kebutuhan listrik di Riau hingga

tahun 2016, hanya 701 MW, masih *surplus* 49.84 MW atau 6,6 % dari beban puncak.

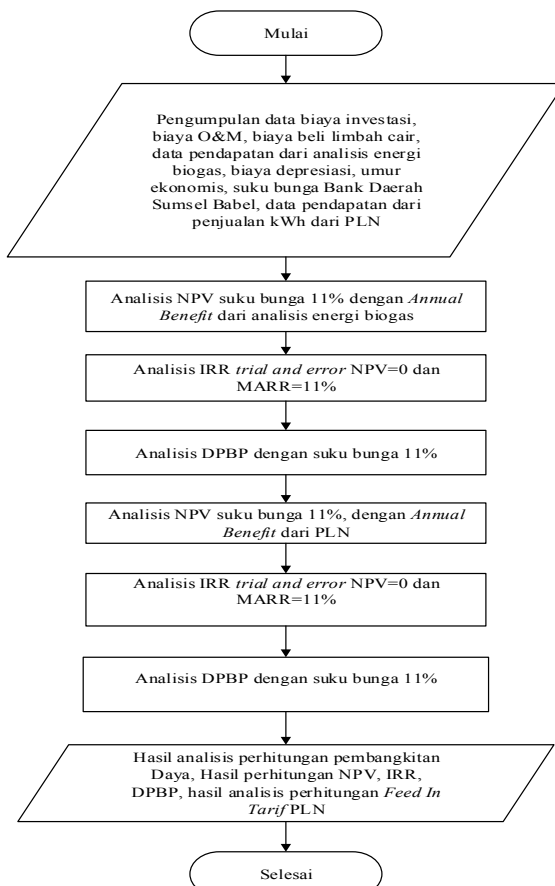
Dari penelitian Rusen (2017) ini jumlah sapi yang terdapat di BBG sebanyak 206 ekor dengan potensi biogas 20 m<sup>3</sup>, dari jumlah kotoran sapi yang dihasilkan sebanyak 2500 kg/hari, *generator* gas yang digunakan berskala menengah sebanyak 1 unit menyesuaikan potensi biogas 20 m<sup>3</sup> dengan *output* daya keluaran sebesar 4800 W, dan waktu pemakaian 12 jam/hari, energi keluaran selama 12 jam sebesar 67,75 kWh, dan biaya perencanaan investasi perancangan modal awal Rp 155.500.000, dan biaya total sebesar Rp 214.086.500. Sedangkan perbandingan listrik dengan PLN perharinya Rp 10.670,85, perbulannya Rp320.125,52, pertahunnya sebesar Rp 3.841.506,22. Per sepuluh tahun sebesar Rp38.415.062,2.

## METODE PENELITIAN

Metode yang akan digunakan dalam penelitian kajian secara teknis ialah melakukan pengumpulan data tandan buah segar sawit yang diolah oleh pabrik kelapa sawit, selanjutnya melakukan analisis mencari rasio tandan buah sawit terhadap POME yang dihasilkan, setelah itu analisis perkg COD secara teoritis, melakukan pengukuran COD pada laboratorium pabrik untuk mencari COD *removal*, analisis data CH<sub>4</sub> dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir pelaksanaan kajian secara teknis



Gambar 2. Diagram alir pelaksanaan kajian secara keekonomian

Pada Gambar 2 metode yang digunakan untuk menghitung kajian secara keekonomian yaitu dengan cara melakukan pengumpulan data seperti biaya investasi, biaya operasional dan perawatan, , suku bunga, penyusutan generator, pendapatan dari PLN, kemudian melakukan perhitungan kelayakan investasi NPV, IRR, DPBP.

Perhitungan kajian keekonomian berdasarkan analisis biogas yaitu data pendapatan dari perhitungan analisis biogas yang telah dilakukan dengan cara analisis terhadap data yang telah dikumpulkan, kemudian untuk mendapatkan nilai kelayakan investasi dengan cara menghitung NPV, IRR, DPBP.

Analisis perhitungan kajian keekonomian berdasarkan pendapatan dari data PLN yaitu dengan cara mendapatkan data pendapatan dari PLN setelah itu dilakukan perhitungan dengan data yang telah dikumpulkan, kemudian menghitung kelayakan investasi menggunakan metode NPV, IRR, DPBP.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Data TBS proses pada tanggal 1-31 Mei 2018

| Date<br>DD/MM/YY | FFB Processed |            |           |
|------------------|---------------|------------|-----------|
|                  | Ton/d         | h/d        | Ton/h     |
| 1/05/18          | 0,0           | 0          | 0,0       |
| 2/05/18          | 700,0         | 23         | 31,0      |
| 3/05/18          | 780,0         | 23         | 33,5      |
| 4/05/18          | 780,0         | 23         | 33,4      |
| 5/05/18          | 760,0         | 23         | 33,1      |
| 6/05/18          | 0,0           | 0          | 0,0       |
| 7/05/18          | 360,0         | 12         | 30,0      |
| 8/05/18          | 760,5         | 23         | 33,1      |
| 9/05/18          | 760,5         | 23         | 33,1      |
| 10/05/18         | 0,0           | 0          | 0,0       |
| 11/05/18         | 760,0         | 23         | 33,0      |
| 12/05/18         | 740,0         | 23         | 32,2      |
| 13/05/18         | 420,0         | 14         | 30,0      |
| 14/05/18         | 820,0         | 23         | 35,7      |
| 15/05/18         | 680,0         | 23         | 29,6      |
| 16/05/18         | 380,0         | 12         | 31,7      |
| 17/05/18         | 780,0         | 23         | 33,5      |
| 18/05/18         | 740,0         | 23         | 31,8      |
| 19/05/18         | 760,0         | 23         | 33,0      |
| 20/05/18         | 717,0         | 22         | 33,0      |
| 21/05/18         | 492,0         | 14         | 34,5      |
| 22/05/18         | 758,5         | 23         | 32,9      |
| 23/05/18         | 780,0         | 23         | 33,2      |
| 24/05/18         | 799,5         | 23         | 34,5      |
| 25/05/18         | 758,5         | 22         | 34,8      |
| 26/05/18         | 779,0         | 23         | 33,8      |
| 27/05/18         | 779,5         | 23         | 33,9      |
| 28/05/18         | 717,5         | 21         | 33,9      |
| 29/05/18         | 440,0         | 13         | 34,4      |
| 30/05/18         | 700,0         | 23         | 31,1      |
| 31/05/18         | 700,0         | 22         | 32,5      |
| <b>Average</b>   | <b>693</b>    | <b>21</b>  | <b>33</b> |
| <b>Total</b>     | <b>19.403</b> | <b>589</b> |           |

**Tabel 2.** Data hasil *Palm Oil Mill Effluent* (POME)

| Date           | <i>Palm Oil Mill Effluent</i> (POME) |                   |             |
|----------------|--------------------------------------|-------------------|-------------|
| DD/MM/YY       | Totalizer (m <sup>3</sup> )          | m <sup>3</sup> /d | EGF (%)     |
| 1/05/18        | 6.417                                | 116               | 0,00        |
| 2/05/18        | 6.722                                | 305               | 0,44        |
| 3/05/18        | 7.231                                | 509               | 0,65        |
| 4/05/18        | 7.747                                | 516               | 0,66        |
| 5/05/18        | 7.943                                | 196               | 0,26        |
| 6/05/18        | 8.322                                | 379               | 0,00        |
| 7/05/18        | 8.690                                | 368               | 1,02        |
| 8/05/18        | 9.177                                | 487               | 0,64        |
| 9/05/18        | 9.636                                | 459               | 0,60        |
| 10/05/18       | 9.968                                | 332               | 0,00        |
| 11/05/18       | 10.333                               | 365               | 0,48        |
| 12/05/18       | 10793                                | 460               | 0,62        |
| 13/05/18       | 11301                                | 508               | 1,21        |
| 14/05/18       | 11.776                               | 475               | 0,58        |
| 15/05/18       | 12.284                               | 508               | 0,75        |
| 16/05/18       | 12.774                               | 490               | 1,29        |
| 17/05/18       | 13.247                               | 473               | 0,61        |
| 18/05/18       | 13.748                               | 501               | 0,68        |
| 19/05/18       | 14.263                               | 515               | 0,68        |
| 20/05/18       | 14.673                               | 410               | 0,57        |
| 21/05/18       | 15.108                               | 435               | 0,88        |
| 22/05/18       | 15.597                               | 489               | 0,64        |
| 23/05/18       | 16.117                               | 520               | 0,67        |
| 24/05/18       | 16.607                               | 490               | 0,61        |
| 25/05/18       | 17.124                               | 517               | 0,68        |
| 26/05/18       | 17.629                               | 505               | 0,65        |
| 27/05/18       | 18.139                               | 510               | 0,65        |
| 28/05/18       | 18.614                               | 475               | 0,66        |
| 29/05/18       | 19.111                               | 497               | 1,13        |
| 30/05/18       | 19.616                               | 505               | 0,72        |
| 31/05/18       | 20.166                               | 550               | 0,79        |
| <b>Average</b> |                                      | <b>447</b>        | <b>0,71</b> |
| <b>Total</b>   |                                      | <b>13.865</b>     |             |

**Tabel 3.** Pengukuran COD pada laboratorium pabrik  
Pengukuran COD (mg/L)

| Tanggal    | COD inlet | COD (CB3) | COD (CB4) |
|------------|-----------|-----------|-----------|
| 17/05/2018 | 79.500    |           | 11.599    |
| 26/05/2018 | 93.600    | 24.100    | 17.700    |
| Rata-rata  | 86.550    | 24.100    | 14.650    |

Pada Tabel 3 didapatkan data pengukuran COD di laboratorium pabrik.

Efisiensi COD removal:

$$\text{COD}_{\text{rev}} = \frac{\text{COD}_{\text{in}} - \text{COD}_{\text{CB4}}}{\text{COD}_{\text{in}}} \times 100\% = 83\%$$

Kandungan energi gas metana serta perhitungan energi gas metana.

**Tabel 4.** Nilai energi gas metana

| Uraian                       | Nilai                   |
|------------------------------|-------------------------|
| Gas metana                   | 65%                     |
| Nilai kalor rendah (LHV)     | 50,1 MJ/kg              |
| Densitas CH <sub>4</sub>     | 0,717 kg/m <sup>3</sup> |
| Nilai energi CH <sub>4</sub> | 35,9 MJ/m <sup>3</sup>  |

Pada Tabel 4 kandungan energi yang terdapat pada gas metana saat rata-rata 65%. Data yang terdapat pada data penelitian rata-rata gas metana yang dihasilkan 52%, dan nilai energinya adalah:

$$52\% = \frac{X}{35,9 \text{ MJ/m}^3}$$

$$X = 28,72 \text{ MJ/m}^3$$

PLTB Biogas Bangka menggunakan generator Trakindo CAT type CG 170 – 20 berkapasitas 2 MW, efisiensi kelistrikan pada spesifikasinya sebesar: GEN<sub>eff</sub> = 43,7 %.

1. Aliran limbah cair harian :

$$= 33 \frac{\text{ton FFB}}{\text{jam}} \times \frac{589 \text{ jam}}{31 \text{ Hari}} \times 0,71 \frac{\text{m}^3 \text{POME}}{\text{hari}} = 445,17 \text{ m}^3 \text{ POME/hari}$$

2. COD loading

$$= 86.500 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 445,17 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times \frac{\text{kg}}{1000.000 \text{ mg}} \times \frac{1000 \text{ L}}{\text{m}^3} = 38.492,5 \frac{\text{kg COD}}{\text{hari}}$$

3. Produksi CH<sub>4</sub>

$$= 38.492,5 \frac{\text{kg COD}}{\text{hari}} \times 83\% \times 0,35 \frac{\text{Nm}^3 \text{CH}_4}{\text{kg COD}} = 11.182,07 \frac{\text{Nm}^3 \text{CH}_4}{\text{jam}}$$

4. Kapasitas Pembangkitan Daya

$$= \frac{11.182,07 \frac{\text{Nm}^3 \text{CH}_4}{\text{hari}} \times 28,72 \frac{\text{MJ}}{\text{Nm}^3 \text{CH}_4} \times 43,7\%}{24 \times 60 \times 60 \text{ detik}} = 1,62 \text{ MW}$$

5. Perhitungan rencana menjual listrik ke jaringan (MW ke MWh) perhari.

$$= 1,62 \text{ MW} \times 24 \text{ Jam} = 38,88 \text{ MWh atau } 38.880 \text{ kWh}$$

6. Perhitungan tarif pembelian PLN (*feed in tariff*) untuk tegangan menengah perhari

$$= 38.880 \text{ kWh} \times 1.575 \text{ Rp/kWh} = \text{Rp } 61.236.000$$

Menurut peraturan Menteri ESDM No. 27/2014 mengatur *feed in tariff* untuk energi terbarukan dari biomassa dan biogas. tegangan menengah 1.575 Rp/kWh, dan untuk tegangan rendah 2.100 Rp/kWh.

#### Ekivalensi Rasio TBS Menjadi kWh

1. Rasio POME terhadap TBS adalah:

$$= \frac{13.865 \text{ m}^3/\text{bulan}}{19.403 \text{ ton/bulan}} \times 100\% = 71\%$$

2. Rasio Biogas terhadap POME adalah:

$$\begin{aligned} \text{Total Engine+Flare} &= 467.062 \text{ Nm}^3 \\ &= \frac{467.062 \text{ Nm}^3}{13.865 \text{ m}^3} \\ &= 33 \text{ Nm}^3 \end{aligned}$$

3. Rasio Biogas terhadap kWh adalah:

$$\begin{aligned} \text{kWh PLN} &= 906.890 \\ \text{Biogas Nm}^3 &= 467.062 \\ &= \frac{906.890 \text{ kWh}}{467.062 \text{ Nm}^3} = 2 \text{ kWh} \end{aligned}$$

### Kelayakan Investasi dari Pendapatan Analisis Biogas.

Dari data *engine running* 575 jam dibagi dengan 24 jam, maka *engine running* 24 hari.

**Tabel 5.** Pendapatan dari analisis biogas

| Annual Benefit (Rp) |                |
|---------------------|----------------|
| Per jam             | 2.551.500      |
| Per Hari            | 61.236.000     |
| Per Bulan (24 hari) | 1.469.664.000  |
| Per Tahun           | 17.635.968.000 |

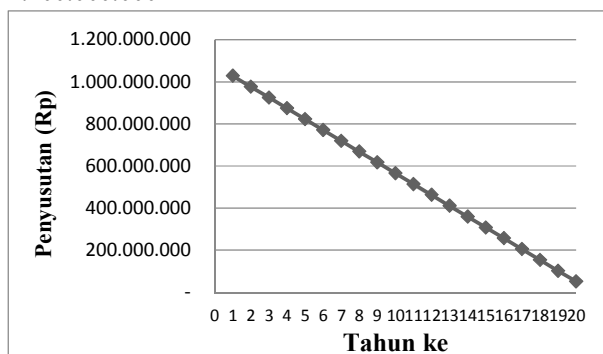
Pada Tabel 5 pendapatan dari penjualan listrik ke PLN yang kWh nya didapatkan dari perhitungan analisis potensi produksi biogas.

**Tabel 6.** Biaya konsumsi POME PLTBogas Bangka

| Waktu    | POME                  | Biaya (Rp)    |
|----------|-----------------------|---------------|
| PerHari  | 447 m <sup>3</sup>    | 13.410.000    |
| Perbulan | 13.865 m <sup>3</sup> | 415.950.000   |
| PerTahun | 12 Bulan              | 4.991.400.000 |

Pada Tabel 6 biaya yang dikeluarkan pembelian bahan baku POME adalah Rp 30.000/m<sup>3</sup> di PLTBogas Bangka.

Pada Gambar 3 perhitungan penyusutan sebuah *generator* dengan metode *Sum of Years* residu 1.200.000.000



**Gambar 3.** Grafik penyusutan metode *Sum of Years*

**Tabel 7.** Data keekonomian PLTBogas

| Uraian             | Biaya (Rp)              |
|--------------------|-------------------------|
| Biaya EPC          | 45.100.000.000          |
| Non EPC            | 1.595.000.000           |
| Investasi (I)      | 46.695.000.000          |
| (O&M)              | 1.723.760.000 perTahun  |
| Limbah Cair (LC)   | 4.991.400.000 perTahun  |
| Pendapatan (Ab)    | 17.635.968.000 perTahun |
| Suku Bunga Bank    | 11%                     |
| Residu (S)         | 1.200.000.000           |
| Umur Ekonomis rata | 20 Tahun                |

Pada Tabel 7 didapatkan data keekonomian dari PLTBogas yang total investasinya Rp 46.695.000.000.

### Net Present Value (NPV)

**Tabel 8.** Suku Bunga

| NPV Suku Bunga                        | Nilai  |
|---------------------------------------|--------|
| P/A, 11%, 20 (Dari tabel suku bunga ) | 7,963  |
| P/F, 11%, 20 (Dari tabel suku bunga ) | 0,124  |
| P/A, 20%, 20 (Dari tabel suku bunga)  | 4,8696 |
| P/F, 20%, 20 (Dari tabel suku bunga)  | 0,0261 |
| P/A, 25%, 20 (Dari tabel suku bunga)  | 3,9539 |
| P/F, 25%, 20 (Dari tabel suku bunga)  | 0,0115 |

NPV 11%:

$$= -I + Ab (P/A, 11\%, 20) + S (P/F, 11\%, 20) - O\&M (P/A, 11\%, 20) - LC (P/A, 11\%, 20)$$

$$= \text{Rp } 40.416.194.104 \text{ (feasible)}$$

Pada Tabel 8 investasi layak dan menguntungkan, kriteria NPV > 0.

### Internal Rate of Return (IRR)

Melakukan pencarian suku bunga secara *trial and error* agar didapat NPV= 0.

NPV 20%:

$$= \text{Rp } 6.516.286.637$$

NPV 25%:

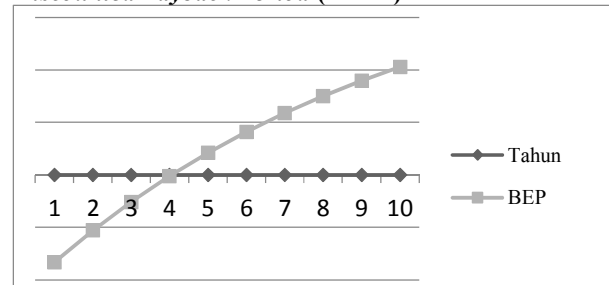
$$= \text{Rp } -3.501.417.249$$

$$IRR = 20\% + \frac{6.516.286.637}{(6.516.286.637 + 3.501.417.249)} (25\% - 20\%)$$

$$IRR = 23\%$$

Perhitungan didapatkan 23%, dengan nilai MARR= 11%. investasi layak dan menguntungkan bagi investor.

### Discounted Payback Period (DPBP)



**Gambar 4.** Grafik *Break Event Point* terhadap periode

Pada Gambar 4 Perhitungan DPBP Investasi ini layak dilakukan dan menguntungkan karena periode pengembalian tahun ke-5 ≤ 10 umur investasi, mulai mendapatkan keuntungan dari segi ekonomis setelah melewati tahun ke 5.

### Perhitungan Kelayakan Investasi Data (Ab) dari PLN

**Tabel 9.** Pendapatan (Ab) data dari PLN

|          | Jumlah kWh | Bersih kWh | Benefit (Rp)   |
|----------|------------|------------|----------------|
| Export   | 907.872    | 906.890    | 1.428.351.120  |
| Import   | 982,4      |            |                |
| Pertahun |            |            | 17.140.213.440 |

Pada Tabel 9 data pendapatan dari PLN.

### Net Present Value (NPV)

Melakukan analisis NPV dengan nilai suku bunga bank daerah 11%

NPV 11%:

$$= -I + Ab(P/A, 11\%, 20) + S(P/F, 11\%, 20) - O\&M(P/A, 11\%, 20) - LC(P/A, 11\%, 20)$$

$$= \text{Rp } 36.468.500.543 \text{ (feasible)}$$

### Internal Rate of Return (IRR)

NPV 20%:

= Rp 4.102.160.231

NPV 25%:

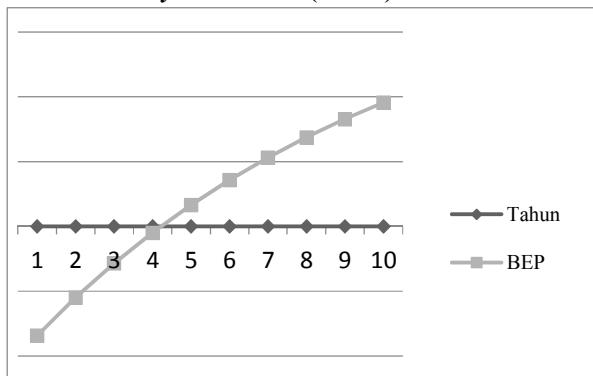
= Rp - 5.461.581.204

$$IRR = 20\% + \frac{4.102.160.231}{(4.102.160.231 + 5.461.581.204)} (25\% - 20\%)$$

IRR = 22 %

IRR didapatkan nilai 22% dari perhitungan interpolasi IRR dengan MARR= 11% investasi Kriteria keputusan layak dan menguntungkan.

### Discounted Payback Period (DPBP)



Gambar 5. Grafik Break Event Point terhadap periode

Pada Gambar 5 perhitungan DPBP Investasi ini layak dilakukan dan menguntungkan karena periode pengembalian tahun ke-5  $\leq$  10 umur investasi, mulai mendapatkan keuntungan dari segi ekonomis setelah melewati tahun ke 5.

### KESIMPULAN

- 1 Berdasarkan analisis POME untuk masukan harian 445,17 m<sup>3</sup>/hari, potensi gas CH<sub>4</sub> 11.182, 07 Nm<sup>3</sup>/jam dan kapasitas pembangkitan *average* 1,62 MW.
- 2 Tipe *Digester* PLTBogas Bangka adalah *Digester Covered Lagoon* yang memproses padatan POME 3%.
- 3 Analisis dari penjualan energi listrik 38.88 kWh, dan pada *feed in tariff* wilayah Kep. Bangka Belitung 1575 Rp/kWh Rp 61.236.000/hari.
- 4 Pada perhitungan kelayakan investasi didapatkan dari analisis biogas, NPV dengan suku bunga bank daerah yaitu 11% adalah Rp 40.416.194.104

(feasible). Pada perhitungan kelayakan investasi didapatkan dari pendapatan PLN, NPV dengan suku bunga bank daerah yaitu 11% adalah Rp 36.468.500.543 (feasible), investasi layak dan menguntungkan bagi investor.

- 5 Perhitungan *Internal Rate of Return* (IRR) dengan nilai pendapatan (Ab) dari analisis produksi biogas didapatkanlah nilai 23% dari MARR 11%, dan perhitungan *Internal Rate of Return* (IRR) dengan nilai pendapatan dari data PLN didapatkanlah nilai 22% dari MARR 11% (feasible), investasi layak dan menguntungkan bagi investor.
- 6 Hasil perhitungan *Discounted Payback Period* (DPBP) dengan pendapatan (Ab) dari analisis produksi biogas dan pendapatan (Ab) dari data PLN pada tahun (k) ke-5 nilai sudah menunjukkan kondisi terjadinya pulang pokok (*break event point*) dengan umur investasi 10 tahun (feasible).
- 7 Ekuivalensi pada analisis 1 ton TBS menghasilkan 71% POME, 1 m<sup>3</sup> POME menghasilkan 33 Nm<sup>3</sup> biogas, dan 1 Nm<sup>3</sup> biogas bisa menghasilkan 2 kWh energi listrik.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada PLTBogas Bangka atas izin melakukan penelitian kajian teknis dan kajian keekonomian.

### DAFTAR PUSTAKA

- BPS, 2018, *Data Badan Pusat Statistik tentang jumlah Perkebunan Besar Kelapa Sawit Wilayah Bangka Belitung* : BPS Babel.
- Giatman, M, 2005, *Ekonomi Teknik*, Penerbit PT Rajagrafindo Persada : Jakarta.
- Irsyad, Fadli dan Yanti, Delvi, 2016, *Evaluasi Tekno-Ekonomi Pemanfaatan Biogas Skala Rumah Tangga Sebagai Sumber Energi Alternatif Ramah Lingkungan*, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas: Padang, Sumatera Barat.
- PerMen ESDM, 2014, *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 27 tahun 2014 tentang Feed in Tarif untuk Energi Terbarukan dari Biomassa dan Biogas* : ESDM.
- Rahayu, Ade Sri, dkk, 2015, *Konversi POME menjadi Biogas*, Penerbit Winrock International : Jakarta Selatan.
- Rusen, Saharza, 2017, *Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas Kotoran Sapi di Bangka Botanical Garden Pangkalpinang*, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Bangka Belitung (UBB): Pangkalpinang, Bangka.
- Safrizal, 2015, *Small Renewable Energy Biogas Limbah Cair (POME) Pabrik Kelapa Sawit Menggunakan Tipe Covered Lagoon Solusi Alternatif Defisit Listrik Provinsi Riau*, Departemen Teknik Elektro, Universitas Islam Nahdlatul Ulama (UNISNU): Jepara, Jawa Tengah.
- Waldijono, 1986, *Ekonomi Teknik Seri Teknik Transportasi*, Penerbit Andi Offset : Yogyakarta.